

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000280043  
PUBLICATION DATE : 10-10-00

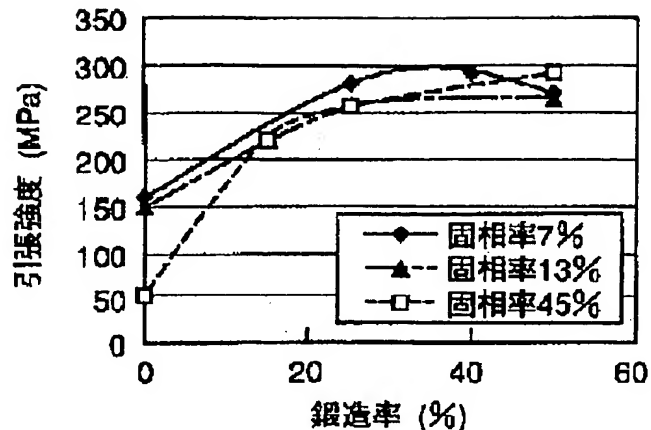
APPLICATION DATE : 31-03-99  
APPLICATION NUMBER : 11091933

APPLICANT : MAZDA MOTOR CORP;

INVENTOR : YAMAMOTO YUKIO;

INT.CL. : B21J 5/00 B22D 17/00 B22D 21/04  
C22C 1/02 C22C 23/02

TITLE : FORGING MATERIAL AND,  
MANUFACTURE OF FORGING  
MEMBER



**ABSTRACT :** **PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a manufacturing method of a forging material and a forging member as well wherein deficiency such as a crack is not caused even if a fast forging is conducted and, sufficient mechanical character can be obtained.

**SOLUTION:** A light alloy forging material containing aluminum at 2 wt.% or more and 10% or less and, formed by a semi-fusion forming method or a semi-fusion casting method is forged at a forging velocity of 100 [mm/s] or higher. Also, a forging material is forged by setting the maximum value of forging ratio at 40% or higher, and a solid phase ratio of a portion to be forged at this maximum forging ratio is at 10% or higher.

**COPYRIGHT:** (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-280043

(P2000-280043A)

(43) 公開日 平成12年10月10日 (2000. 10. 10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
B 2 1 J 5/00		B 2 1 J 5/00	D 4 E 0 8 7
B 2 2 D 17/00		B 2 2 D 17/00	Z
21/04		21/04	B
C 2 2 C 1/02	5 0 1	C 2 2 C 1/02	5 0 1 B
	5 0 3		5 0 3 L

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-91933

(22) 出願日 平成11年3月31日 (1999. 3. 31)

(71) 出願人 000003137

マツダ株式会社

広島県安芸郡府中町新地3番1号

(72) 発明者 坂本 和夫

広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内

(72) 発明者 山本 幸男

広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内

(74) 代理人 100062144

弁理士 青山 葆 (外1名)

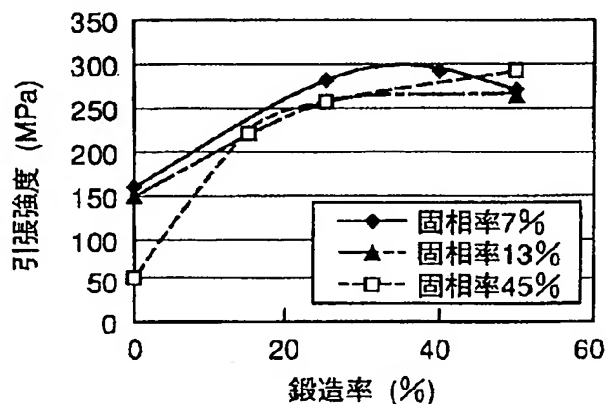
Fターム(参考) 4E087 AA05 AA10 BA03 BA20 BA24  
CA07 CB01 CB11 CB12

## (54) 【発明の名称】 鍛造用素材、並びに鍛造部材の製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 高速鍛造を行っても、割れなどの不具合を発生することなく、また、十分な機械的特性を得ることができる鍛造用素材、並びに鍛造部材の製造方法を提供する。

【解決手段】 2重量%以上で10重量%以下のアルミニウムを含有し半溶融成形法または半溶融鑄造法で形成された軽合金製の鍛造用素材を、100 [mm/s] 以上の鍛造速度で鍛造することを特徴とし、また、鍛造率の最大値を40%以上に設定し、この最大鍛造率で鍛造される部分の固相率が10%以上である鍛造用素材を鍛造することを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 100 [mm/s] 以上の鍛造速度で鍛造される軽合金製の鍛造用素材であって、

2重量%以上で10重量%以下のアルミニウムを含有し、半熔融成形法または半熔融鑄造法で形成されていることを特徴とする鍛造用素材。

【請求項2】 鍛造率の最大値が40%以上であり、この最大鍛造率で鍛造される部分の固相率が10%以上に設定されていることを特徴とする請求項1記載の鍛造用素材。

【請求項3】 固相率が80%以下に設定されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の鍛造用素材。

【請求項4】 固相率が60%以下に設定されていることを特徴とする請求項3記載の鍛造用素材。

【請求項5】 4重量%以下のカルシウムを含有したマグネシウム合金を材料に用いて形成されていることを特徴とする請求項1～請求項4のいずれかに記載の鍛造用素材。

【請求項6】 アルミニウム含有量に対するカルシウム含有量の比率が0.8以下に設定されていることを特徴とする請求項5記載の鍛造用素材。

【請求項7】 射出成形にて成形されて成ることを特徴とする請求項1～請求項6のいずれかに記載の鍛造用素材。

【請求項8】 2重量%以上で10重量%以下のアルミニウムを含有し半熔融成形法または半熔融鑄造法で形成された軽合金製の鍛造用素材を、100 [mm/s] 以上の鍛造速度で鍛造することを特徴とする鍛造部材の製造方法。

【請求項9】 鍛造率の最大値を40%以上に設定し、この最大鍛造率で鍛造される部分の固相率が10%以上である鍛造用素材を鍛造することを特徴とする請求項8記載の鍛造部材の製造方法。

【請求項10】 上記鍛造用素材の固相率が80%以下に設定されていることを特徴とする請求項8または請求項9に記載の鍛造部材の製造方法。

【請求項11】 上記固相率が60%以下に設定されていることを特徴とする請求項10記載の鍛造部材の製造方法。

【請求項12】 250～400℃の鍛造温度で鍛造することを特徴とする請求項8～請求項11のいずれかに記載の鍛造部材の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半熔融成形法または半熔融鑄造法で成形され一定以上の高速で鍛造される軽合金製の鍛造用素材、並びに、かかる鍛造用素材を用いた鍛造部材の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、例えばマグネシウム（以下、適宜、その元素記号Mgで表示する。）及びその合金あるいはアルミニウム（以下、適宜、その元素記号Alで表示する。）及びその合金などの軽金属を材料とした軽金属製部材を製造する方法としては、鑄造法をベースにしたものが最も一般的である。この鑄造法の一つとして、軽金属溶湯を高圧で鑄型内へ注入充填することにより鑄造プロセスの高速化を実現し、その生産性の大幅な向上を図ることができるようにした、所謂、ダイキャスト法は、従来から良く知られている。また、軽金属溶湯をその融点以上の完全熔融状態で鑄型内に注入充填する通常の溶解鑄造法に対して、軽金属溶湯を（基本的にはその融点未満の）半熔融状態で鑄型内に注入充填するようにした半熔融鑄造法も公知である。

【0003】更に、近年では、特にMg及びその合金等について、射出成形法を用いた軽金属製部材の製造方法が実用化されつつある。この方法は、熔融状態の軽金属溶湯を射出成形装置を用いてその射出ノズルから成形型の成形キャビティ内に射出充填するもので、鑄造法に比して短いサイクルタイムで効率良く成形品（軽金属製部材）を製造することができる。また、この射出成形法は、例えばダイキャスト法などの鑄造法に比した場合、作業環境面では比較的クリーン（清浄）で安全性もより高く、また、品質面においても、引け巣などの欠陥が少なく、かつ高精度で均質な軽金属成形品を得ることができるプロセスとして知られている。この射出成形法においても、軽金属溶湯を（基本的にはその融点未満の）半熔融状態にして射出ノズルから成形キャビティ内に射出充填するようにした、所謂、半熔融射出成形方法が知られている（例えば、特公平2-15620号公報参照）。

【0004】上記射出成形法においてのみならず鑄造法においても、半熔融状態の金属溶湯を用いた場合、溶湯温度（以下、完全に溶解した状態ではなく半熔融状態のものであっても「溶湯」と称する。）が低いので、所謂「バリ」が出にくくなり高速および／または高圧での射出にも適しており、生産性の向上を図る上でも有利となる。更に、金属溶湯を半熔融状態として成形キャビティに充填することにより、完全に溶解した液相部分中に未溶解の固相部分が混在した溶湯がそのまま充填されるので、層流に近い状態で充填されるようになり、ガスの巻き込みが比較的少なく済み、比較的均質な組織が得られる。これにより、得られた部材全体としての機械的特性を高めることが可能になる。

【0005】尚、本明細書において、「固相」とは「軽金属溶湯が半熔融状態である場合において溶解されずに固体状態を維持している部分」を言い、また、「液相」とは「完全に溶解されて液体状態となっている部分」を言う。上記「固相」は、得られた軽金属製部材の凝固組織を観察することにより、「半熔融の金属溶湯状態で溶

融されずに固体状態を維持していた部分」として、「半熔融の金属溶湯状態で完全に熔融されて液体状態となっていた」液相部分とは、容易に識別することができる。得られた部材について「固相」という場合は、「半熔融の軽金属溶湯状態で熔融されずに固体状態を維持していた(固相であった)部分」を言う。また、本明細書において、「固相率」とは、「半熔融状態の金属溶湯において溶湯全体(固相+液相)に対する固相の割合」を言い、射出後の成形品の凝固組織を観察することにより、観察領域全体に対する「固相」であった部分の割合(面積比率)として、数値的に求めることができる。

【0006】更に、本明細書において、軽金属溶湯について「半熔融状態」とは、基本的には、「固体状態の原料(固相)と熔融して液体状態となった原料(液相)とが共存している状態」を言い、通常、原料をその融点未満に加熱することによって得られる状態である。但し、軽金属溶湯の温度が実質的にその融点もしくは融点直上で、固相率が実質的に0(零)％に等しい場合も、この「半熔融状態」に含まれるものとする。尚、軽金属溶湯自体がこのような実質的に固相率0％の場合でも、例えば半熔融射出成形法において現実の射出成形工程を考えれば、射出ノズルから型内への1回(1ショット)の射出が終って次回(次ショット)の射出が行われるまでの間に、射出ノズルの溶湯供給経路内の金属溶湯が冷やされてノズル先端側に凝固部分(所謂、コールドプラグ)や固相率の高い高固相部分が生じるので、実際に成形キャビティ内に射出される軽金属溶湯には、不可避的に固相部分が含まれることになる。

【0007】一方、上述の鋳造法や射出成形法に比してより高強度の軽金属製部材を得ることが求められる場合には、最も一般的には鍛造法が採用される。また、この鍛造法で軽金属製部材を製造する製造法の一つとして、例えば特開平6-297127号公報に開示されているように、鍛造加工に先立って鋳造法によりその鍛造加工に適した素材(鍛造用素材)を成形し、この素材を所定の鍛造型にセットして鍛造加工を行うようにした、所謂、鋳造鍛造法が知られている。

【0008】この鋳造鍛造法によれば、鋳造(素材)段階で鍛造加工による完成品(鍛造部材)の形状に比較的近似した半製品形状に成形することができる。これにより、鍛造工程を仕上げ鍛造の1工程のみに簡略化することが可能になり、また、複雑な形状の部材でも鍛造できるようになる。更に、鍛造性の余り良くない材料でも支障無く鍛造加工を行えるように素材の組織を調整することも可能になる。尚、この鋳造鍛造法における鍛造用素材の成形を、鋳造法の代わりに射出成形法で行うこともできる。

【0009】また、上記Mg合金等の軽合金は、例えば自動車においてもホイールなどの材料として既に実用化されているのであるが、このMg合金を、温度的ある

いは強度的により使用条件が厳しい例えば内燃機関(エンジン)周りの機構部品(例えばエンジン吸排気バルブのバルブリフト等)などの材料として適用することを考えた場合、常温での強度特性はもとより、例えば、150℃程度の高温においても一定以上(例えば220MPa程度以上)の高い引張強度や優れた耐クリープ特性が求められる。このような場合、特に、鋳造や射出成形などの成形加工では所要の特性を安定して得ることは一般に難しく、加工時に緻密な材料組織が得られる塑性加工、特に、一定以上の鍛造率で鍛造することが最も好ましく、従って、良好な鍛造性を確保する必要がある。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ところで、所要の機械的特性を得るために鍛造用素材を鍛造する場合、実用的には、量産時の生産性を確保する観点から、鍛造プロセスにおけるサイクルタイムをできるだけ短くすることが求められる。このため、サイクルタイムに関係した鍛造条件としては、一般に、大略100[mm/s]以上の鍛造速度で行う高速鍛造で行うことが要求される。しかしながら、鍛造速度が低い範囲(100[mm/s]未満の範囲)では支障無く鍛造が行え、塑性加工による強度向上効果が有効に得られる材料であっても、高速鍛造を行うと、容易に割れが発生したり、あるいは、鍛造率を高めても却って強度低下傾向が生じ場合があるなど、十分な機械的特性の向上効果を得ることができない場合が生じるといった問題があった。

【0011】この発明は、上記技術的課題に鑑みてなされたもので、高速鍛造を行っても、割れなどの不具合が発生することなく、また、十分な機械的特性を得ることができる鍛造用素材、並びに鍛造部材の製造方法を提供することを基本的な目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本願発明者らは、上記の技術的課題に鑑みて鋭意研究を重ねた結果、半熔融成形法または半熔融鋳造法で形成された軽合金製の鍛造用素材について、一定以上(2重量%以上)のAlを含有せしめることにより、室温強度の向上および/または鋳造性の確保を有効に達成でき、また、他の元素(カルシウム:Ca)を併せて添加することにより、高温(150℃)でも高い引張強度(220MPa程度以上)が確保できること、また、固相率が高くなると、引張強度は一般に低下するのであるが、鍛造による強度向上効果は大きくなること、更に、低固相率では、鍛造率がある程度以上高くなると引張強度が却って低くなるという現象が生じるが、固相率を一定以上(10%以上)に高く設定した場合には、かかる強度低下傾向は生じないこと、また更に、Al及びカルシウム(Ca)を含有したMg合金製の鍛造用素材においては、Ca量が一定以下(4重量%以下)の範囲においてはこのCa含有量が高いほど耐クリープ特性が向上すること、また、Ca/Al比(A

1含有量(重量)に対するCa含有量(重量)の比率)が一定以下(0.8以下)の範囲では所要の鍛造率を確保した上で高速鍛造における割れ発生率を極めて低く抑制できることを見出した。

【0013】そこで、本願の請求項1の発明(以下、第1の発明という)に係る鍛造用素材は、100 [mm/s]以上の鍛造速度で鍛造される軽合金製の鍛造用素材であって、2重量%以上で10重量%以下のアルミニウムを含有し、半溶融成形法または半溶融鋳造法で形成されていることを特徴としたものである。

【0014】ここに、Al含有量の下限値を2重量%としたのは、この値以上のAlを含有させることにより、鍛造速度が100 [mm/s]以上の高速鍛造を行った場合でも、室温強度の向上および/または鍛造性の確保を有効に達成でき、また、他の元素(カルシウム:Ca)を併せて添加することにより、高温(150℃)において十分な引張強度(220MPa程度以上)を確保することができるからであり、また、Al含有量の上限値を10重量%としたのは、Al量がこの値を越えて増加してもAl添加の効果が飽和するからである。

【0015】また、本願の請求項2の発明(以下、第2の発明という)は、上記第1の発明において、鍛造率の最大値が40%以上であり、この最大鍛造率で鍛造される部分の固相率が10%以上に設定されていることを特徴としたものである。

【0016】ここに、鍛造率の最大値を40%以上とし、また、この最大鍛造率で鍛造される部分の固相率を10%以上としたのは、固相率をこの値以上に設定することにより、40%以上の高い鍛造率においても引張強度の低下傾向が生じることを防止でき、また、得られた鍛造部材の強度バラツキを小さく抑えることができるからである。

【0017】更に、本願の請求項3の発明(以下、第3の発明という)は、上記第1または第2の発明において、固相率が80%以下に設定されていることを特徴としたものである。

【0018】ここに、固相率の上限値を80%としたのは、固相率がこの値を上回ると、半溶融状態の溶湯の粘性が高くなりすぎて、かかる溶湯を用いた成形もしくは鋳造を行うことが実際上極めて難しくなるからである。

【0019】また、更に、本願の請求項4の発明(以下、第4の発明という)は、上記第3の発明において、固相率が60%以下に設定されていることを特徴としたものである。

【0020】ここに、固相率の上限値を60%としたのは、固相率がこの値を上回ると、半溶融状態の溶湯の粘性が高くなりすぎて、かかる溶湯を用いて連続した製造プロセス(例えば射出成形など)による鍛造用素材の製造を行うことが実際上極めて難しくなるからである。

【0021】また、更に、本願の請求項5に係る発明

(以下、第5の発明という)は、上記第1～第4のいずれかの発明において、4重量%以下のCa含有したMg合金を材料に用いて形成されていることを特徴としたものである。

【0022】ここに、Caを含有せしめたのは耐クリープ特性を向上させるためであり、また、Ca含有量の上限値を4重量%としたのは、Ca量がこの値を越えて増加しても耐クリープ特性向上の効果が飽和するからである。

【0023】また、更に、本願の請求項6に係る発明(以下、第6の発明という)は、上記第5の発明において、Al含有量に対するCa含有量の比率(Ca/Al比)が0.8以下に設定されていることを特徴としたものである。

【0024】ここに、上記Ca/Al比を0.8以下としたのは、この範囲であれば、所要の鍛造率(50%)を確保した上で、高速鍛造においても割れ発生率を極めて低く抑えることができるからである。

【0025】また、更に、本願の請求項7に係る発明(以下、第7の発明という)は、上記第1～第6のいずれかの発明において、鍛造用素材が射出成形にて成形されて成ることを特徴としたものである。

【0026】また、更に、本願の請求項8の発明(以下、第8の発明という)に係る鍛造部材の製造方法は、2重量%以上で10重量%以下のアルミニウムを含有し半溶融成形法または半溶融鋳造法で形成された軽合金製の鍛造用素材を、100 [mm/s]以上の鍛造速度で鍛造することを特徴としたものである。ここに、Al含有量の下限値を2重量%とし、上限値を10重量%としたのは、第1の発明における場合と同様の理由による。

【0027】また、更に、本願の請求項9の発明(以下、第9の発明という)は、上記第8の発明において、鍛造率の最大値を40%以上に設定し、この最大鍛造率で鍛造される部分の固相率が10%以上である鍛造用素材を鍛造することを特徴としたものである。ここに、鍛造率の最大値を40%以上とし、また、この最大鍛造率で鍛造される部分の固相率を10%以上としたのは、第2の発明における場合と同様の理由による。

【0028】また、更に、本願の請求項10の発明(以下、第10の発明という)は、上記第8または第9の発明において、上記鍛造用素材の固相率が80%以下に設定されていることを特徴としたものである。ここに、上記鍛造用素材の固相率の上限値を80%としたのは、第3の発明における場合と同様の理由による。

【0029】また、更に、本願の請求項11の発明(以下、第11の発明という)は、上記第10の発明において、鍛造用素材の固相率が60%以下に設定されていることを特徴としたものである。ここに、上記鍛造用素材の固相率の上限値を60%としたのは、第4の発明における場合と同様の理由による。

【0030】また、更に、本願の請求項12に係る発明(以下、第12の発明という)は、上記第8～第11のいずれか一の発明において、250℃～400℃の鍛造温度で鍛造することを特徴としたものである。

【0031】ここに、鍛造温度の下限値を250℃としたのは、鍛造温度がこの値以上であれば、鍛造性が良好で高い限界据え込み率(70%以上)を確保して、例えばエンジン回りの機構部品(例えばバルブリフト)など一定以上の高い強度を要する部材・部品等にも適用することが可能だからであり、また、鍛造温度の上限値を400℃としたのは、鍛造温度がこの値を越えると、鍛造温度の上昇による鍛造性向上効果が飽和し、しかも、素材表面が酸化したり、素材の一部分に溶融が生じて鍛造割れを招く場合があり、また、高温保持中に材料組織内で粒成長が生じて鍛造性の悪化を招く恐れがあるからである。

#### 【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、鍛造用素材の成形に半溶融射出成形法を採用した場合を例にとって、添付図面を参照しながら詳細に説明する。まず、本実施の形態に係る鍛造用素材の成形について説明する。図1は、本実施の形態に係る軽金属製鍛造用素材の射出成形を行う射出成形装置の概略構成を示す部分断面説明図である。この図に示すように、上記射出成形装置1は、所謂スクリュウ式のもので、先端部にノズル3を有し外周に配置されたヒータ4で加熱されるシリンダ2と、該シリンダ2及びそれに接続された成形機本体5内で回転可能に支持されたスクリュウ6と、例えばモータ機構および減速機構等を備えスクリュウ6を回転駆動する回転駆動装置7と、原料が投入され貯えられるホッパー8と、ホッパー8内の原料を計量して成形機本体5内に送給するフィーダ9とを備えている。

【0033】また、上記成形機本体5内には、具体的には図示しなかったが、スクリュウ6をノズル3側に前進させる高速射出機構が設けられている。この高速射出機構は、所定のタイミングでスクリュウ6を前進させるとともに、該スクリュウ6が予め設定された距離だけ後退するとそれを検知してスクリュウ6の回転を停止させ、同時にその後退動作も停止させるように構成されている。

【0034】上記射出成形装置1は、ノズル3の内部通路と成形キャビティ11に繋がるランナ部12とが連通するように位置設定された上で、シリンダ2の先端側を金型10に結合して用いられる。上記ホッパー8に投入されてその内部に貯えられた原料は、フィーダ9で所定量が計量されて成形機本体5内に供給され、スクリュウ6の回転によって加熱状態のシリンダ2内に送給される。送給された原料は、このシリンダ2の内部でスクリュウ6の回転により十分に攪拌・混練されながら所定温度に加熱される。本実施の形態では、かかるプロセスによっ

て、より好ましくは、原料の融点未満の半溶融状態の軽金属溶湯を得るようにした。

【0035】このようにして得られた半溶融状態の軽金属溶湯がスクリュウ6の前方に押し出されるに連れて、その圧力で該スクリュウ6が後退して行く。尚、他の手法として、スクリュウを所望の速度で強制的に後退させるようにしても良い。スクリュウ6が予め設定された距離だけ後退すると、成形機本体5内の上記高速射出機構(不図示)がそれを検知してスクリュウ6の回転を停止させ、同時にその後退動作も停止させる。尚、原料の計量を、スクリュウ6の後退距離を設定することによって行うようにしても良い。

【0036】そして、回転が停止し後退位置にあるスクリュウ6を、高速射出機構(不図示)によって前進させ所定の力で押し出すことより、ノズル3から金型10内に半溶融状態の軽金属溶湯が射出される。つまり、ノズル3からランナ部12を介して成形キャビティ11内に軽金属溶湯が射出充填されるようになっている。本実施の形態では、原料として軽金属の一種であるマグネシウム(Mg)合金を用い、これを例えば切り粉状のペレットの形態で射出成形装置1のホッパー8に供給するようにした。上記ホッパー8から成形機本体5内に通じる通路には、より好ましくは不活性ガス(例えばアルゴンガス)が充填され、原料(Mg合金ペレット)の酸化反応の防止が図られている。

【0037】上記金型10の成形キャビティ11は、より好ましくは、この射出成形の後に行われる鍛造加工に用いられる鍛造型(不図示)の成形キャビティと近似した形状に形成されており、後工程で得られるべき製品である鍛造部材と近似した半製品形状の射出成形品(鍛造用素材)を得ることができる。これにより、鍛造工程を仕上鍛造の1工程のみに簡略化することが可能になり、また、複雑な形状の部材でも鍛造できるようになる。更に、鍛造性の余り良くない材料でも支障無く鍛造加工を行えるのである。

【0038】また、上記射出成形装置1のスクリュウ6の前進速度(好ましくは、後退速度も)が1[m/s]以上になるように設定した。尚、上述の半溶融射出成形法ではなく、完全溶融状態の溶湯を用いて行う射出成形法によって鍛造用素材を成形する場合においても、スクリュウ速度を1[m/s]以上になるように設定することが好ましい。また、鍛造用素材の製造を、これら射出成形法ではなくダイカスト鑄造法で行う場合でも、プランジャ速度を1[m/s(メートル/秒)]以上に設定することがより好ましい。ここに、ダイカスト鑄造法におけるプランジャ速度および射出成形法におけるスクリュウ速度の下限値を1[m/s]としたのは、この値未満では、鍛造用素材製造時のガス巻き込みによるガス欠陥の発生を低減できるものの、製造時のサイクルタイムが長くなり過ぎて、実用性に欠けるからである。

【0039】更に、本実施の形態では、上記射出成形装置1を用いて軽合金製の鍛造用素材を射出成形するに際して、固相率を60%以下に設定して成形を行った。ここに、固相率の上限値を60%としたのは、固相率がこの値を上回ると、半熔融状態の溶湯の粘性が高くなりすぎて、かかる溶湯を用いて連続した射出成形プロセスによる製造を行うことが實際上極めて難しくなるからである。尚、このような射出成形以外の例えば半熔融鑄造などのプロセスを適用する場合においては、固相率を80%以下に設定することが好ましい。この場合、固相率の上限値を80%としたのは、固相率がこの値を上回ると、半熔融状態の溶湯の粘性が高くなりすぎて、かかる溶湯を用いた成形もしくは鑄造を行うことが實際上極めて難しくなるからである。

【0040】上記射出成形装置1を用いて射出成形された軽合金製の鍛造用素材について、鍛造速度が100 [mm/s] を越える高速鍛造を行っても、割れなどの不具合を発生することなく、また、十分な機械的特性を得ることができるようにするために、種々の試験を行った。以下、これらの試験について説明する。図2～図4は、本実施の形態に係る軽合金製の鍛造素材を用いて鍛造部材のサンプルを得る方法を模式的に示したものである。本実施の形態では、図2に示すように、縦A1×横

B1×長さL1の直方体状のマグネシウム合金製鍛造素材M1を用意し、図3に示すように、この素材Mの例えば横方向を一对の固定プレートP1で挟んで拘束し、この状態で縦方向（図3における紙面方向）に圧縮荷重を加えて塑性加工（鍛造）を行い、図4に示すような鍛造部材のサンプルを作成した。

【0041】この結果、素材M1の縦方向寸法は、初期のA1からA2に変化し（短くなり）、また、長さは初期のL1からL2に変化する（長くなる）。この場合、この鍛造による鍛造率は次式①で算出される。

$$\text{鍛造率} = (A1 - A2) / A1 \times 100 [\%] \cdots \text{①}$$

尚、本実施の形態では、マグネシウム合金鍛造素材M1の初期（図11参照）の基本寸法を、例えば、 $A1 = A2 = 12 [\text{mm}]$ 、 $L1 = 50 [\text{mm}]$ とした。このようにして得られた鍛造部材サンプルをそれぞれ供試材とし、これら供試材から各種試験に適應した寸法・形状の試験片を切り出して作成し、以下に述べるような各種の試験を行った。尚、以下の各試験において、鍛造速度は10.0～400 [mm/s]とした。これら一連の試験において試料として用いた合金の化学組成を表1に示す。

【0042】

【表1】

(単位：重量%)

	A1	Zn	Mn	Fe	Ni	Cu	Mg
合金A	7.2	0.2	0.22	0.003	0.0008	0.001	残部

【0043】まず、鍛造による強度向上効果に及ぼす固相率の影響を調べる試験を行った。この試験では、射出成形のみによる（鍛造用素材のままの）サンプルと、射出成形後に25%の鍛造率で鍛造加工を行ったサンプルとについて、それぞれ固相率を10～50%の範囲で変化させ、各々の引張強度を測定した。尚、この試験において、鍛造用素材のままのサンプルは、内部欠陥がほとんど無い高品質のものであった。

【0044】試験結果を図7に示す。この図7のグラフから分かるように、鍛造前および鍛造後のいずれのものにおいても、固相率が高くなるほど引張強度は低下しているが、鍛造したものの場合には、その低下の度合いが少ない。つまり、固相率が高くなるほど、鍛造による強度向上の効果が大きくなることが分かった。従って、高固相率で使用するものについては、鍛造加工を施すことがより有利に作用することになる。

【0045】次に、鍛造部材の引張強度に及ぼす固相率と鍛造率の影響を調べる試験を行った。この試験では、固相率が異なる3種の鍛造用素材（固相率：7%、13%及び45%）について、鍛造率を0～50%の範囲で変化させ、各々の引張強度を測定した。

【0046】試験結果を図8に示す。この図8のグラフから分かるように、固相率が10%以上（固相率：13

%及び45%）のものについては、鍛造率が高いほど引張強度も高くなる。一方、固相率が10%未満（固相率：7%）のものについては、鍛造率が40%程度までの範囲では、鍛造率が高いほど引張強度も高くなるが、鍛造率が40%程度を越えると、引張強度は却って低下することが分かった。

【0047】次に、鍛造部材の引張強度およびそのバラツキに及ぼす固相率と鍛造率の影響を調べる試験を行った。この試験では、射出成形後に行う鍛造加工の鍛造率25%の場合と鍛造率が50%の場合について、それぞれ固相率を7～45%の範囲で変化させ、各々の引張強度（最大強度および最小強度）を測定した。

【0048】試験結果を図9（鍛造率：25%）及び図10（鍛造率：50%）に示す。これらのグラフから分かるように、固相率が10%以上の範囲では、引張強度の最大値と最小値のバラツキ幅は略一定であるが、固相率が10%未満の範囲では、このバラツキ幅が急激に大きくなっている。つまり、引張強度のバラツキをできるだけ小さく抑えるには、固相率を10%以上に設定することが好ましいことが分かった。

【0049】以上より、この40%以上の高い鍛造率においても引張強度の低下傾向が生じないようし、更に、得られた鍛造部材の強度バラツキを小さく抑えるように



するには、固相率を10%以上に設定すれば良いことが分かった。

【0050】次に、本実施の形態に係るMg合金製の鍛造用素材の主要な添加元素であるアルミニウム（Al）及びカルシウム（Ca）の含有量が鍛造部材の機械的性質（特に、高温での機械的性質）に及ぼす影響を調べる試験を行った。表2は、本実施の形態に係るマグネシウム合金鍛造素材の特性を調べるための各種試験に用いた試料（本発明実施例1～7並びに比較例1及び2）の化学成分およびCa/Al比（アルミニウム含有量に対す

るカルシウム含有量の比率）を示している。つまり、表1に示した各試料（鍛造素材）を用いてそれぞれ鍛造部材のサンプルを製作し、以下に述べるような各種試験に供した。尚、表2において、各数値は重量%を示しており、また、Al（アルミニウム）、Ca（カルシウム）、Mn（マンガン）、Si（珪素）及びその他（不純物）以外の残部は、Mg（マグネシウム）である。

【0051】

【表2】

各試料合金の化学組成及びCa/Al比

(単位：重量%)

	Al	Ca	Mn	Si	その他	Ca/Al
実施例1	2.9	2.8	0.34	0.24	≤0.01	0.97
実施例2	3.9	0.5	0.34	0.18	≤0.01	0.13
実施例3	4.0	2.2	0.30	0.14	≤0.01	0.55
実施例4	4.1	3.2	0.35	0.13	≤0.01	0.78
実施例5	4.1	4.0	0.31	0.15	≤0.01	0.98
実施例6	6.1	3.2	0.31	0.13	≤0.01	0.52
実施例7	2.1	3.2	0.32	0.10	≤0.01	1.52
比較例1	3.9	—	0.30	0.18	≤0.01	0.00
比較例2	4.0	5.1	0.30	0.21	≤0.01	1.28

残部：Mg

【0052】図11は、Ca含有量が鍛造部材の定常クリープ速度に及ぼす影響を調べた試験結果を示している。尚、このクリープ試験の試験条件および供試材の設定条件は、以下の通りとした。

- ・試験温度：150℃
- ・荷重条件：100MPa
- ・供試材の鍛造率：50%

【0053】図11の試験結果に示されるように、定常クリープ速度は、Ca量が0.5重量%（本発明実施例2）から4重量%（本発明実施例5）の範囲では、Ca量が増加するに連れて低下しており、この範囲ではCa含有量の増加に伴って耐クリープ特性が向上することが分かった。一方、Ca量が4重量%を越えると（比較例2）、定常クリープ速度は略一定となっており、Ca含有量の増加による耐クリープ特性向上の効果がこの値（4重量%）を超えると飽和することが分かった。尚、Caを全く含まない比較例1の場合には、クリープ速度が定常状態に至らず、試験開始後10[h r]（時間）で試験片が破断しており、対クリープ特性が著しく劣っていることが分かった。

【0054】また、図12は、鍛造部材の高温での引張強度に及ぼすAl含有量の影響を示している。この高温引張試験の試験条件および供試材の設定条件は、以下の通りとした。

- ・試験温度：150℃
- ・供試材の鍛造率：50%

【0055】この図12の試験結果から良く分かるように、高温での引張強度はAl量が3重量%（本発明実施

例1：Al量2.9重量%）以上の範囲では略一定の高い値に維持され、Al量がこの値を下回って2重量%（本発明実施例7）になると若干の低下傾向を示すようになるが、依然として高い値（220MPa以上）を保っている。尚、本試験における「本発明実施例」はいずれもCaを含有している。すなわち、Al含有量が2重量%以上であれば、高温（150℃）でも十分な引張強度を確保することができ、更に、より好ましくは、3重量%以上であれば、より高い引張強度をより安定して維持できることが分かった。また、Al含有量が3重量%を越えると、含有量の比較的低い範囲でも高温での引張強度向上の効果はほぼ飽和傾向を示しており、従って、10重量%を越えれば確実に効果が飽和することが確認できた。

【0056】この高温引張強度としては、鍛造部材を例えばエンジンのバルブリフタなど、150℃程度の高温雰囲気下で一定以上の高い強度を要する部材・部品等に用いる場合には、実用上、少なくとも220MPa以上を確保することが好ましい。図12の高温引張試験で用いた各試料の場合には、いずれも、150℃の高温雰囲気下で220MPa以上の引張強度を確保することができ、上記のような一定以上の高い強度を要する部材・部品等に対しても十分に適用することができる。

【0057】次に、Ca/Al比がMg合金鍛造素材の鍛造性に及ぼす影響を調べる試験を行った。図13は、高速鍛造を行った場合における割れ発生率に及ぼすCa/Al比の影響を示している。尚、本明細書中において、「高速鍛造」とは、略100[mm/秒]以上の鍛



造速度で行う鍛造を言うものとする。上記図13の高速鍛造試験の試験条件および供試材の設定条件は、以下の通りとした。

- ・鍛造温度：350℃
- ・鍛造速度：400 [mm/秒]
- ・鍛造率：10%，25%，50%の3種類

【0058】図13の試験結果から良く分かるように、Ca/A1比が0.8（本発明実施例4）以下の範囲では、鍛造率の如何に拘わらず、割れ発生率は最高でも0.1%以下と極めて低い値に抑制することができる。一方、Ca/A1比が0.8を越えると（本発明実施例5）、鍛造率が25%及び50%のものについては割れ発生率が急速に高くなる。しかし、鍛造率が10%のものについては、Ca/A1比が0.8以下の場合と同じく、割れの発生は全く認められなかった。以上より、実用性は比較的低いものの鍛造率が10%であれば、Ca/A1比の如何に拘わらず高速鍛造においても割れは発生せず、また、鍛造率が25%以上（25%及び50%）の場合には、Ca/A1比を0.8以下とすることにより、高速鍛造における割れ発生率を極めて低く抑制

$$\text{限界据え込み率} = (L3 - L4) / L3 \times 100 [\%] \cdots \text{②}$$

尚、本実施の形態では、上記試験片M2の初期（図14参照）の基本寸法を、D=16 [mm]，L3=24 [mm]とした。

【0061】図14は、鍛造温度および鍛造前熱処理が鍛造時の限界据え込み率に及ぼす影響を示している。この図14に示した限界据え込み率試験の試験条件および供試材の設定条件は、以下の通りとした。

- ・供試材の種類：本発明実施例4
- ・供試材の熱処理条件：熱処理無し／鍛造前に410℃で16時間保持した後に空冷

【0062】図14の試験結果から良く分かるように、熱処理の有無に拘わらず、鍛造温度が略400℃以下の範囲では、鍛造温度が上昇するに連れて限界据え込み率は高くなっており、この範囲では、鍛造温度を高めることによる鍛造性向上の効果を確認することができた。一方、鍛造温度が400℃を越えると鍛造性向上の効果は飽和し、しかも、素材表面が酸化したり、素材の一部分に溶融が生じて鍛造割れを招く場合があり、また、高温保持中に材料組織内で粒成長が生じて鍛造性の悪化を招く恐れがある。従って、鍛造温度としては、400℃以下が好ましく、酸化防止の観点からは350℃以下であることがより好ましい。また、鍛造前に熱処理を施した場合には、熱処理を行わなかった場合に比べて、限界据え込み率が上昇しており、鍛造前の熱処理による限界据え込み率向上の効果を確認することができた。

【0063】尚、この限界据え込み率としては、一般に、実用上、少なくとも50%以上を確保することが好ましく、特に、鍛造部材を例えばエンジンのバルブリフトなどの一定以上の高い強度を要する部材・部品等に用

して、十分な鍛造性を確保できることが分かった。

【0059】尚、上記の高速鍛造試験とは別に、略10 [mm/秒]の低速での鍛造試験（鍛造温度：350℃）を行ったところ、鍛造率が10%の場合は勿論のこと、鍛造率が25%及び50%の場合でも、Ca/A1比の如何に拘わらず割れの発生は全く認められなかった。すなわち、鍛造速度が低い場合には、鍛造率およびCa/A1比の如何に拘わらず割れ発生はなく、鍛造性に何ら問題が無いことが分かった。

【0060】次に、限界据え込み率に及ぼす鍛造温度の影響を調べる試験を行った。ここに、限界据え込み率とは、図5に模式的に示すように、直径D×長さL3の円柱状の試験片M2を用意し、この試験片M2に対しその長手方向に圧縮荷重を加えて、図6に模式的に示すように試験片を圧縮変形（変形後の長さL4）させた場合に、当該試験片にクラック（割れ）が発生する限界の据え込み率を言う。上記図5および図6の例で、初期長さL3の試験片M2を長さL4まで圧縮変形させたときに微小クラックが発生したとすると、この場合の限界据え込み率は、次式②で算出される。

いる場合には、70%以上を確保することがより好ましい。本発明実施例4の試料の場合には、鍛造前に熱処理を施さなくても、250℃を下回る鍛造温度でも70%以上の限界据え込み率を確保することができ、上記のような一定以上の高い強度を要する部材・部品等に対しても十分に適用することができる。

【0064】上記の鍛造前の熱処理における加熱温度および保持時間としては、上記鍛造素材に、300℃～500℃の温度範囲で5時間～50時間保持する熱処理を施すことが好ましい。この場合、熱処理温度の下限値を300℃としたのは、それ未満では、熱処理による鍛造成形性の向上効果が小さいからであり、また、熱処理温度の上限値を500℃としたのは、それより高くしても鍛造成形性の向上効果が飽和する上に、酸化や部分的な溶解の起こることが有り、メリットが無いからである。一方、熱処理温度保持時間の下限値を5時間としたのは、それ未満では、熱処理による鍛造成形性の向上効果が小さいからであり、また、熱処理温度保持時間の上限値を50時間としたのは、それより長時間熱処理しても鍛造成形性の向上効果は飽和するからである。

【0065】尚、以上の実施の形態は、鍛造用素材の成形に半溶融射出成形法を採用した場合についてのものであったが、本発明は、かかる場合に限らず、半溶融鑄造法あるいは完全溶解状態の軽金属溶湯を用いる射出成形法や、例えばダイカスト法等の鑄造法など、他の種々のプロセスを鍛造用素材の成形に採用した場合についても有効に適用することができる。また、上記実施の形態は、射出材料としてMg合金を用いた場合についてのものであったが、本発明は、他の種類の軽金属を材料に用

いる場合にも有効に適用することができる。このように、本発明は、以上の実施態様に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々の変更あるいは設計上の改良等が可能であることは言うまでもない。

#### 【0066】

【発明の効果】本願の第1の発明に係る鍛造用素材によれば、100 [mm/s] 以上の鍛造速度で鍛造される軽合金製の鍛造用素材であって、2重量%以上で10重量%以下のアルミニウムを含有し、半熔融成形法または半熔融鍛造法で形成されているので、鍛造速度が100 [mm/s] 以上の高速鍛造を行った場合でも、室温強度の向上および/または鍛造性の確保を有効に達成でき、また、他の元素(カルシウム: Ca)を併せて添加することにより、高温(150℃)においても十分な引張強度(220MPa程度以上)を効果的に確保することができる。

【0067】また、本願の第2の発明によれば、基本的には、上記第1の発明と同様の効果を奏することができる。特に、鍛造率の最大値を40%以上とし、この最大鍛造率で鍛造される部分の固相率を10%以上に設定したので、40%以上の高い鍛造率においても引張強度の低下傾向が生じることを防止でき、しかも、得られた鍛造部材の強度バラツキを小さく抑えることができる。

【0068】更に、本願の第3の発明によれば、基本的には、上記第1または第2の発明と同様の効果を奏することができる。特に、固相率が80%以下に設定されているので、半熔融状態の溶湯の粘性が高くなり過ぎることを防止でき、かかる溶湯を用いた成形もしくは鍛造を支障無く行うことができる。

【0069】また、更に、本願の第4の発明によれば、基本的には、上記第3の発明と同様の効果を奏することができる。特に、固相率が60%以下に設定されているので、半熔融状態の溶湯の粘性が高くなり過ぎることをより確実に防止でき、かかる溶湯を用いて連続した製造プロセス(例えば射出成形など)による鍛造用素材の製造を支障無く行うことができる。

【0070】また、更に、本願の第5の発明によれば、基本的には、上記第1～第4の発明のいずれかと同様の効果を奏することができる。特に、4重量%以下のCa含有したMg合金を材料に用いて形成されているので、高速鍛造で得られた鍛造部材の耐クリープ特性を向上させることができ、また、Ca量増加による耐クリープ特性向上の効果を得る上で経済的である。

【0071】また、更に、本願の第6の発明によれば、基本的には、上記第5の発明と同様の効果を奏することができる。特に、Al含有量に対するCa含有量の比率(Ca/Al比)が0.8以下に設定されているので、所要の鍛造率(50%)を確保した上で、高速鍛造においても割れ発生率を極めて低く抑えることができ、良好

な鍛造性を得ることができる。

【0072】また、更に、本願の第7の発明によれば、基本的には、上記第1～第6のいずれかの発明と同様の効果を奏することができる。特に、鍛造用素材が射出成形にて成形されているので、鍛造用素材を半熔融射出成形で製造することによるメリットを享受できる。

【0073】また、更に、本願の第8の発明に係る鍛造部材の製造方法によれば、2重量%以上で10重量%以下のアルミニウムを含有し半熔融成形法または半熔融鍛造法で形成された軽合金製の鍛造用素材を鍛造するので、鍛造速度が100 [mm/s] 以上の高速鍛造を行った場合でも、室温強度の向上および/または鍛造性の確保を有効に達成でき、また、他の元素(カルシウム: Ca)を併せて添加することにより、高温(150℃)においても十分な引張強度(220MPa程度以上)を効果的に確保することができる。

【0074】また、更に、本願の第9の発明によれば、基本的には、上記第8の発明と同様の効果を奏することができる。特に、鍛造率の最大値を40%以上に設定し、この最大鍛造率で鍛造される部分の固相率を10%以上に設定した鍛造用素材を鍛造するので、40%以上の高い鍛造率においても引張強度の低下傾向が生じることを防止でき、しかも、得られた鍛造部材の強度バラツキを小さく抑えることができる。

【0075】また、更に、本願の第10の発明によれば、基本的には、上記第8または第9の発明と同様の効果を奏することができる。特に、固相率が80%以下に設定されているので、半熔融状態の溶湯の粘性が高くなり過ぎることを防止でき、かかる溶湯を用いた成形もしくは鍛造を支障無く行うことができる。

【0076】また、更に、本願の第11の発明によれば、基本的には、上記第10の発明と同様の効果を奏することができる。特に、固相率が60%以下に設定されているので、半熔融状態の溶湯の粘性が高くなり過ぎることをより確実に防止でき、かかる溶湯を用いて連続した製造プロセス(例えば射出成形など)による鍛造用素材の製造を支障無く行うことができる。

【0077】また、更に、本願の第12の発明によれば、基本的には、上記第8～第11の発明のいずれかと同様の効果を奏することができる。特に、上記鍛造における鍛造温度を250℃～400℃の範囲としたので、良好な限界据え込み率(70%以上)を確保して、例えばエンジンのバルブリフタなど一定以上の高い強度を要する部材・部品等にも適用することができ、また、鍛造温度の上限値を400℃であるので、鍛造温度の上昇による鍛造性向上の効果を得る上で経済的であり、しかも、高温保持に起因する素材表面の酸化や鍛造性の悪化などによる悪影響も有効に回避することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態に係る射出成形装置の概

略構成を示す部分断面説明図である。

【図2】 本実施の形態に係るマグネシウム合金鍛造素材の斜視図である。

【図3】 上記マグネシウム合金鍛造素材の鍛造工程を模式的に示す説明図である。

【図4】 上記鍛造工程後のマグネシウム合金鍛造部材サンプルの説明図である。

【図5】 本実施の形態に係るマグネシウム合金製鍛造素材の限界据え込み率試験の初期状態を示す説明図である。

【図6】 上記限界据え込み率試験の鍛造時におけるマグネシウム合金製鍛造素材を模式的に示す説明図である。

【図7】 鍛造による強度向上効果に及ぼす固相率の影響を示すグラフである。

【図8】 鍛造部材の引張強度に及ぼす固相率と鍛造率の影響を示すグラフである。

【図9】 鍛造部材（鍛造率：25%）の引張強度およ

びそのバラツキに及ぼす固相率と鍛造率の影響を示すグラフである。

【図10】 鍛造部材（鍛造率：50%）の引張強度およびそのバラツキに及ぼす固相率と鍛造率の影響を示すグラフである。

【図11】 マグネシウム合金鍛造部材の定常クリープ速度に及ぼすカルシウム含有量の影響を示すグラフである。

【図12】 マグネシウム合金鍛造部材の高温引張強度に及ぼすアルミニウム含有量の影響を示すグラフである。

【図13】 高速鍛造における割れ発生率に及ぼすCa/A1火の影響を示すグラフである。

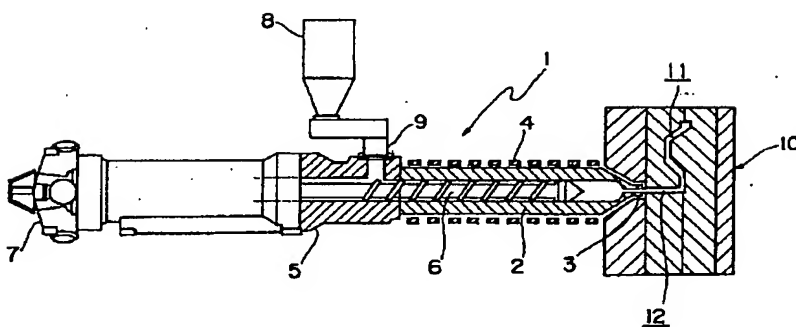
【図14】 限界据え込み率に及ぼす鍛造温度の影響を示すグラフである。

【符号の説明】

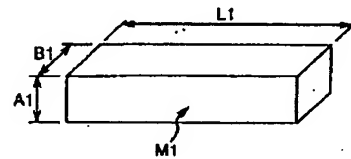
1…射出成形装置

M1, M2…Mg合金鍛造用素材

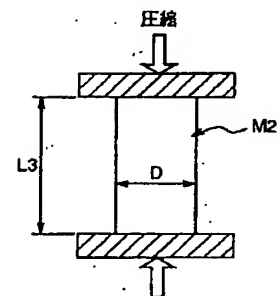
【図1】



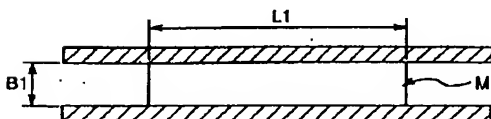
【図2】



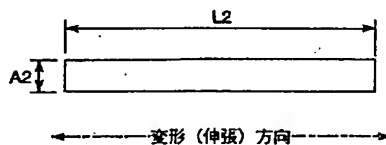
【図5】



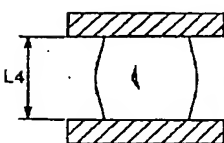
【図3】



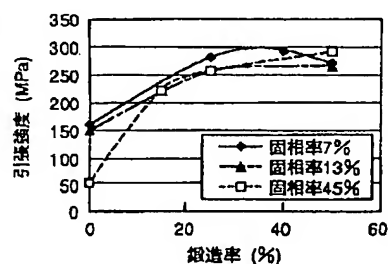
【図4】



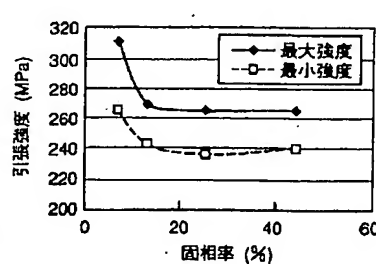
【図6】



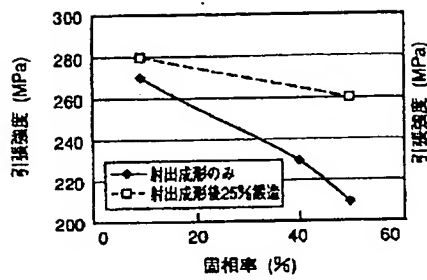
【図8】



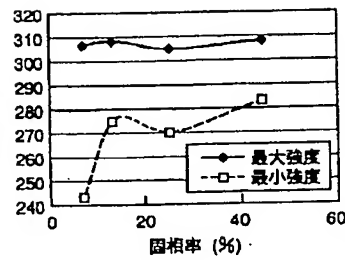
【図9】



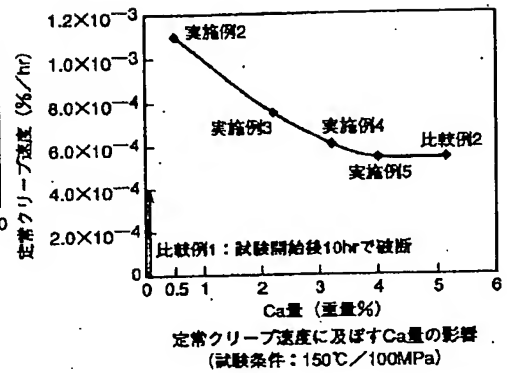
【図7】



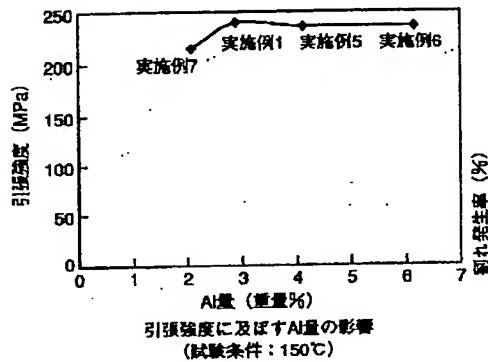
【図10】



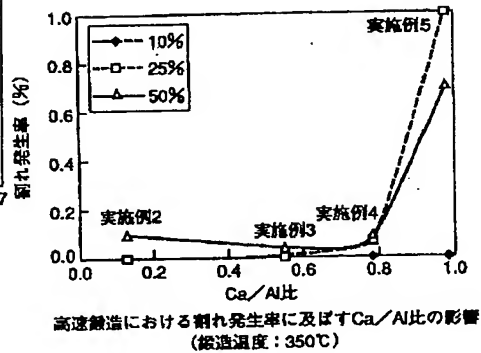
【図11】



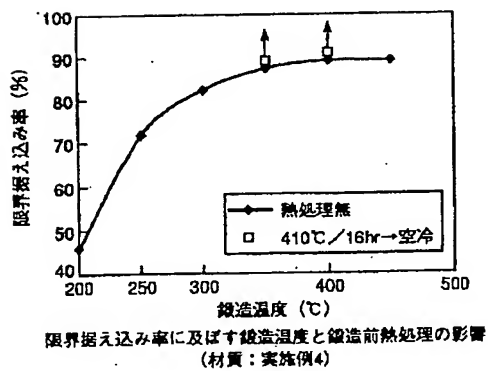
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
C 22 C 23/02

識別記号

FI  
C 22 C 23/02

メモード (参考)